



TEMA 1: COMBUSTIBLES SÓLIDOS

ACTIVIDADES PRÁCTICAS (SOLUCIONES)

Aitziber Iriondo Hernández
Blanca M^a Caballero Iglesias
Maite de Blas Martín

Escuela de Ingeniería de Bilbao
Ingeniería Química y del Medio Ambiente

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

SOLUCIÓN A LAS ACTIVIDADES PRÁCTICAS

I) Ejercicios numéricos:

Ejercicios 1.1 y 1.2



Imagen publicada en Pixabay
bajo dominio público [\[1\]](#)

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.1. SOLUCIÓN (I)

a) Clasificación de los carbones A y B

Clasificación ASTM. Los parámetros de clasificación son:

- Materia volátil: MV (*dmmf*)
- Poder calorífico: PCS (*mmf*)

Para llevar a cabo el cambio de base de referencia (de base *ar* a base *dmmf* y *mmf*) se necesita conocer el contenido de materia mineral (MM), a partir de la ecuación de Parr:

$$\text{MM (\%)} = 1,08 \cdot A + 0,55 \cdot S$$

MM: % materia mineral
A: % cenizas
S: %S

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.1. SOLUCIÓN (II)

▪ Carbón A

$$MM(ar) = 1,08 \cdot 9,7 + 0,55 \cdot 4 = 12,7\%$$

$$MV(dmmf) = 32,5 \cdot \frac{100}{100 - 7 - 12,7} = 40,5\% \quad \Rightarrow \quad MV(dmmf) > 31\%$$

$$PCS(mmf) = 6116 \cdot \frac{100}{100 - 12,7} = 7005,7 \text{ kcal/kg} \quad \Rightarrow \quad PCS(mmf): 6110 < PCS < 7220$$

Según la tabla 1.A (clasificación ASTM), el carbón A puede ser:

Bituminoso C con alto contenido en Materia Volátil o Subbituminoso A

Es preciso mirar el valor del índice de hinchamiento al crisol:

Índice de hinchamiento al crisol = 1 ^{Tabla 1.A} \Rightarrow Subbituminoso A

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.1. SOLUCIÓN (III)

▪ Carbón B

$$MM(ar) = 1,08 \cdot 8,1 + 0,55 \cdot 1 = 9,3\%$$

$$MV(dmmf) = 21,7 \cdot \frac{100}{100 - 4,2 - 9,3} = 25,1\% \quad \Rightarrow \quad MV(dmmf): 22\% < MV < 31\%$$

Según la tabla 1.A (clasificación ASTM), el carbón B es:

Bituminoso de medio contenido en materia volátil

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.1. SOLUCIÓN (IV)

Clasificación Internacional. Los parámetros de clasificación son:

- Materia volátil: MV (*daf*)
- Poder calorífico: PCS (*af*)

Se realiza el cambio de base de referencia correspondiente, de base (*ar*) a (*daf*) y (*af*):

▪ **Carbón A**

$$MV(daf) = 32,5 \cdot \frac{100}{100-7-9,7} = 39,0\% \quad \Rightarrow \quad MV(daf) > 33\%$$

$$PCS(af) = 6116 \cdot \frac{100}{100-9,7} = 6773,0 \text{ kcal/kg} \quad \Rightarrow \quad PCS(af): 6100 < PCS < 7200$$

Tabla 1.B
↓
Clase 8

Índice de hinchamiento al crisol = 1 $\xrightarrow{\text{Tabla 1.B}}$ **Grupo 1**

Ensayo Gray-King = tipo D $\xrightarrow{\text{Tabla 1.B}}$ **Subgrupo 1**

811

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.1. SOLUCIÓN (V)

▪ Carbón B

$$MV(daf) = 21,7 \cdot \frac{100}{100-4,2-8,1} = 24,7\% \Rightarrow MV(daf): 28\% < MV < 20\% \xrightarrow{\text{Tabla 1.B}} \text{Clase 4}$$

Índice de hinchamiento al crisol = 5 $\xrightarrow{\text{Tabla 1.B}}$ Grupo 3

Ensayo Gray-King = tipo G₅ $\xrightarrow{\text{Tabla 1.B}}$ Subgrupo 4

434

b) Ordenar de mayor a menor rango

Carbón A < Carbón B

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.2. SOLUCIÓN (I)

a) Análisis inmediato (ar)

Humedad = 2,3 %

Cenizas = 5,8 %

Materia Volátil = 35,0 %

Carbono fijo (por dif. a 100) = 56,9 %

Análisis elemental (ar)

C = 78,1 %

H = 5,1 %

N = 0,9 %

S = 0,9 %

O (por diferencia a 100) = 6,9 %



Como los análisis están dados sobre carbón tal y como es recibido (ar), para calcular el % O, es preciso tener en cuenta el % de humedad y el % de cenizas

$$\% O = 100 - \% C - \% H - \% S - \% N - \% \text{ humedad} - \% \text{ cenizas}$$

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.2. SOLUCIÓN (II)

a) **Clasificación ASTM.** Los parámetros de clasificación son:

Materia volátil: MV (*dmmf*)
Poder calorífico: PCS (*mmf*)

Para llevar a cabo el cambio de base de referencia (de base *ar* a base *dmmf* y *mmf*) se necesita conocer el contenido de materia mineral (MM), a partir de la ecuación de Parr:

$$MM (\%) = 1,08 \cdot A + 0,55 \cdot S$$

MM: % materia mineral
A: % cenizas
S: %S

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.2. SOLUCIÓN (III)

$$MM(ar) = 1,08 \cdot 5,8 + 0,55 \cdot 0,9 = 6,8 \%$$

$$MV(dmmf) = 35,0 \cdot \frac{100}{100 - 2,3 - 6,8} = 38,5\% \quad \Rightarrow \quad MV(dmmf) > 31 \%$$

$$PCS(mmf) = 7371 \cdot \frac{100}{100 - 6,76} = 7905,4 \text{ kcal/kg} \quad \Rightarrow \quad PCS(mmf) > 7780 \text{ kcal/kg}$$

Según la tabla 1.A (clasificación ASTM), el carbón A es:

Bituminoso A con alto contenido en Materia Volátil

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.2. SOLUCIÓN (IV)

Clasificación Internacional. Los parámetros de clasificación son:

- Materia volátil: MV (*daf*)
- Poder calorífico: PCS (*af*)

Se realiza el cambio de base de referencia correspondiente, de base (*ar*) a (*daf*) y (*af*):

$$MV(daf) = 35,0 \cdot \frac{100}{100-2,3-5,8} = 38,1\% \quad \Rightarrow \quad MV(daf) > 33\%$$

$$PCS(af) = 7371 \cdot \frac{100}{100-5,8} = 7824,8 \text{ kcal/kg} \quad \Rightarrow \quad PCS(af) > 7550 \text{ kcal/kg}$$

Tabla 1.B

↓
Clase 6

Índice de hinchamiento al crisol = 2,0 ^{Tabla 1.B} \Rightarrow **Grupo 1**

Ensayo Gray-King = tipo E ^{Tabla 1.B} \Rightarrow **Subgrupo 2**

612

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.2. SOLUCIÓN (V)

b) Cálculo del PCI:

$$\text{PCI} = \text{PCS} - \lambda_{\text{condensación}} \cdot \frac{9[H] + w}{100} \quad (\text{kcal/kg})$$

\downarrow
 584 kcal/kg vapor (25°C)
 (Collieu y Powney, 1977)

→ { % H carbón
 % w (humedad) carbón

→ kg vapor/kg carbón

$$\text{PCI (ar)} = 7371 \text{ kcal/kg} - 584 \text{ kcal/kg (H}_2\text{O)} \cdot \frac{9 \cdot 5,1 + 2,3}{100} \text{ kg (H}_2\text{O)} = 7089,5 \text{ kcal/kg}$$

Fórmula de Dulong

$$\text{PCS} = 81 (\%C) + 340 \left(\%H - \frac{\%O}{8} \right) + 22 (\%S) \quad (\text{kcal/kg})$$

%C, %H, %S: % en peso del carbón "seco"

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.2. SOLUCIÓN (VI)

Es preciso hacer el cambio de base correspondiente de los parámetros del análisis elemental (C, H, O y S), de base (ar) a base (d):

$$C(d) = 78,1 \cdot \frac{100}{100-2,3} = 79,9 \%$$

$$H(d) = 5,1 \cdot \frac{100}{100-2,3} = 5,2\%$$

$$O(d) = 6,9 \cdot \frac{100}{100-2,3} = 7,1\%$$

$$S(d) = 0,9 \cdot \frac{100}{100-2,3} = 0,9 \%$$

$$PCS(d) = 81 \cdot 79,9 + 340 \left(5,2 - \frac{7,1}{8} \right) + 22 \cdot 0,9 = 7958,0 \text{ kcal/kg}$$

$$PCI = PCS - \lambda_{\text{condensación}} \cdot \frac{9[H] + w}{100} \quad (\text{kcal/kg})$$

\downarrow
 584 kcal/kg vapor (25°C)
 (Collieu y Powney, 1977)

$\left\{ \begin{array}{l} \% \text{ H carbón} \\ \% \text{ w (humedad) carbón} \end{array} \right.$
 \rightarrow kg vapor/kg carbón

$$PCI(d) = 7958,0 \text{ kcal/kg} - 584 \text{ kcal/kg (H}_2\text{O)} \cdot \frac{9 \cdot 5,2}{100} \text{ kg (H}_2\text{O)/kg} = 7684,7 \text{ kcal/kg}$$

EJERCICIOS DE CLASIFICACIÓN DE CARBONES

EJERCICIO 1.2. SOLUCIÓN (VII)

c) Comparando ambos valores del PCI, en base (d)

- A partir del dato experimental se obtuvo:

$$\text{PCI(ar)} = 7089,51 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{PCI(d)} = 7089,5 \cdot \frac{100}{100-2,3} = 7256,4 \text{ kcal/kg}$$

- A partir de la fórmula de Dulong se obtuvo:

$$\text{PCI(d)} = 7684,7 \text{ kcal/kg}$$

Por tanto, el error es del:

$$\frac{7684,7 - 7256,4}{7684,7} \cdot 100 = 5,6 \% \text{ de error}$$